RESUMEN LUMINOTECNIA. ESPOSO MAMANI JHIMY ALDAIR-ING.ELECTRICA

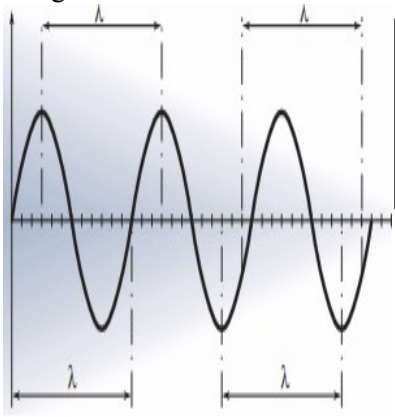
1. Luz.

1.1. Generalidades.

Es sabido que existen diversos tipos de energía: mecánica, térmica, electrostática y electromagnética.
• Si a un cuerpo en reposo se le suministra energía mecánica, éste tiende a ponerse en movimiento transformando la energía suministrada en energía cinética, energía que lleva consigo y que comunica a otros cuerpos si colisiona con ellos.
• Si el cuerpo o fuente emisora irradia energía, la propagación se produce por radiación en forma de ondas* que son las perturbaciones físicas que se propagan a través de un determinado medio o en el vacío.
Dentro de las diferentes formas de propagación de las ondas se definen diversos regímenes. Desde el punto de vista de la luminotecnia, nos interesa el régimen periódico, que se define como aquel que se repite a intervalos regulares de tiempo y que se expresa gráficamente mediante varias formas de onda.

1.2. Características de ondas.

Longitud de Onda.- Se define como la distancia recorrida por la onda en un periodo.



Este parámetro queda determinado mediante el producto de la velocidad de propagación (v), por el tiempo que tarda en realizar un ciclo (Periodo T)

$\lambda = v \cdot T$ (m/s · s = m)

Frecuencia. - Se define como el número de periodos que tienen lugar en la unidad de tiempo.

$f = \frac{v}{\lambda}$ (s^{-1} = ciclos/segundo = Hz)

Velocidad de propagación. - La velocidad de propagación depende del tipo de onda, de la elasticidad del medio y de su rigidez.

$v = \lambda \cdot f$ ($m \cdot s^{-1}$ = m/s)

1.3. Espectros de frecuencia.

Las longitudes de onda más cortas del espectro visible corresponden a la luz violeta y la más larga a la luz roja, y entre estos extremos se encuentran todos los colores del arco iris . No existen límites en las longitudes de onda de la radiación electromagnética; es decir, todas las longitudes de onda son teóricamente posibles.

Radiación de una fuente con espectro continuo. - Todo cuerpo, a cualquier temperatura que no sea el cero absoluto, irradia energía según un amplio campo de longitud de onda. Esta radiación se denomina incandescencia o radiación de temperatura (llama de combustión etc.).

Radiación de una fuente con espectro discontinuo. - La energía radiante de una fuente de descarga gaseosa, como la de vapor de sodio, vapor de mercurio, argón, neón, etc., consiste en una radiación integrada por pequeños intervalos de longitud de onda que se denominan picos de emisión.

1.4. Naturaleza dual de la luz.

La luz ha intrigando a la humanidad durante siglos. Las teorías más antiguas consideraban a la luz como algo que era emitido por el ojo.

Distribución espectral de la luz del dia normal Distribución espectral de lámpara incandescente

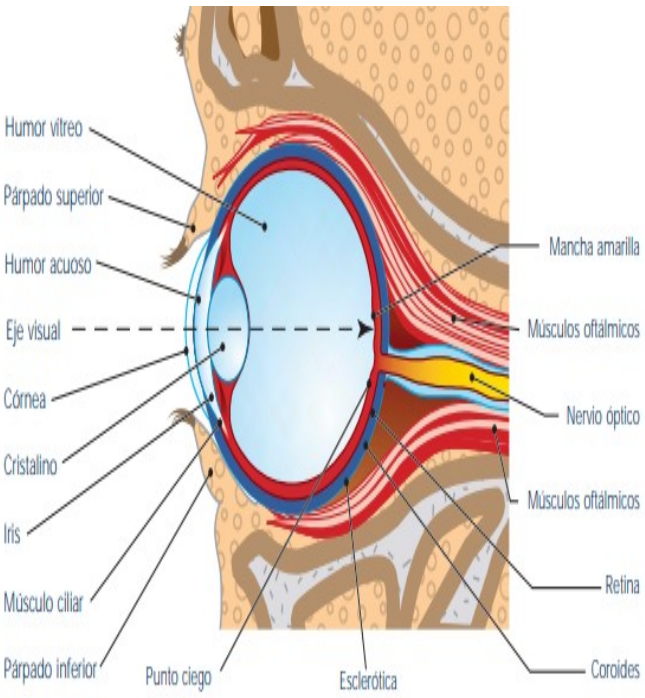
Capítulo 1. LA LUZ deducción de la ley de la refracción dependía de la hipótesis de que la luz se mueve con más rapidez en el agua o en el vidrio que en el aire, hipótesis que posteriormente se demostró que era falsa. Los principales proponentes de la teoría ondulatoria de la luz fueron
Christian Huygens y Robert Hooke. Utilizando su propia teoría de la propagación de las ondas, Huygens fue capaz de explicar la reflexión y la refracción suponiendo que la luz viaja más lentamente en el vidrio o el agua que en el aire. Newton se dio cuenta de las ventajas de la teoría ondulatoria de la luz, particularmente porque explicaba los colores formados por películas delgadas, que había estudiado a fondo.

2. El ojo.

2.1. El ojo humano como receptor de la luz.

El ojo es el órgano fisiológico del sentido de la vista, mediante el cual se experimentan las sensaciones de luz y color.
Un objeto a iluminar que necesitamos que sea visible.
El estudio y descripción de los componentes del ojo, así como el proceso que se realiza desde que la luz le llega y pasa por las vías y centros visuales hasta que es interpretada por el cerebro, nos llevaría al campo de la neurofisiología.

2.2. Descripción estructural del ojo.



a) Globo ocular: Cámara que tiene como función principal la formación de la imagen en la retina.

b) Córnea: Tiene la misión de recibir y transmitir las impresiones visuales y constituye el componente óptico refractor fundamental del ojo.

c) Cristalino: Es una lente biconvexa, transparente e incolora situado tras el iris.

d) Iris: Lámina circular situada frente al cristalino y muy pigmentada.

e) Pupila: Orificio circular situado en el centro del iris y a través del cual pasan los rayos

f) Retina: Es la película interna posterior del ojo constituida por una membrana nerviosa, expansión del nervio óptico, que tiene la función de recibir y transmitir imágenes o impresiones visuales.

g) Conos: Células fotosensibles de la retina o fotorreceptores que se encuentran principalmente en la fóvea**.**

h) Bastones o bastoncillos: Células fotosensibles de la retina o fotorreceptores que se encuentran sólo fuera de la fóvea y más concentrados en la periferia.

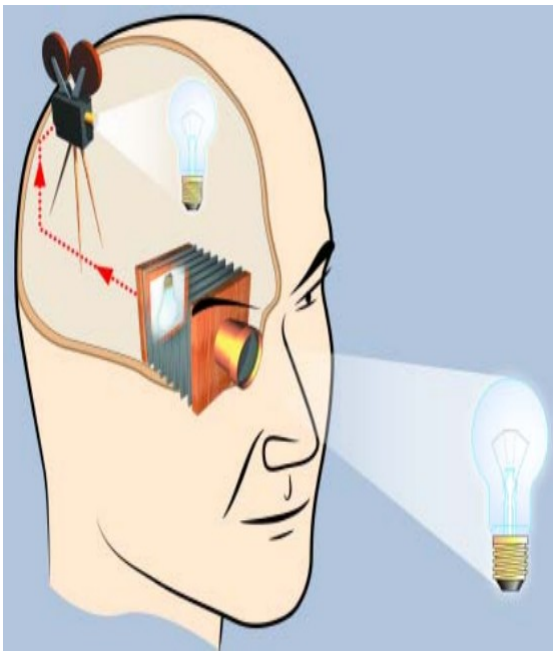
i) Mácula: Mancha amarilla situada en el polo posterior de la retina, sobre el eje óptico, donde se produce la fijación nítida y precisa de detalles y colores.

j) Punto ciego: Punto de la retina por donde el nervio óptico conduce las imágenes o sensaciones de luz al cerebro.

Consecuencias prácticas de la función de conos y bastones.

Cuando miramos un espacio iluminado con poca luz, por ejemplo, en la penumbra por la noche, la agudeza visual es baja, porque no actúan los conos y no se distinguen los colores ni los detalles, de ahí el famoso refrán de que «de noche todos los gatos son pardos».
Ello justifica que en algunos alumbrados públicos de avenidas, carreteras, y grandes superficies se efectúe el alumbrado con lámparas de vapor de sodio que reproducen mal los colores, pero aportan gran cantidad de luz.
A la luz diurna se le llama visión fotópica.

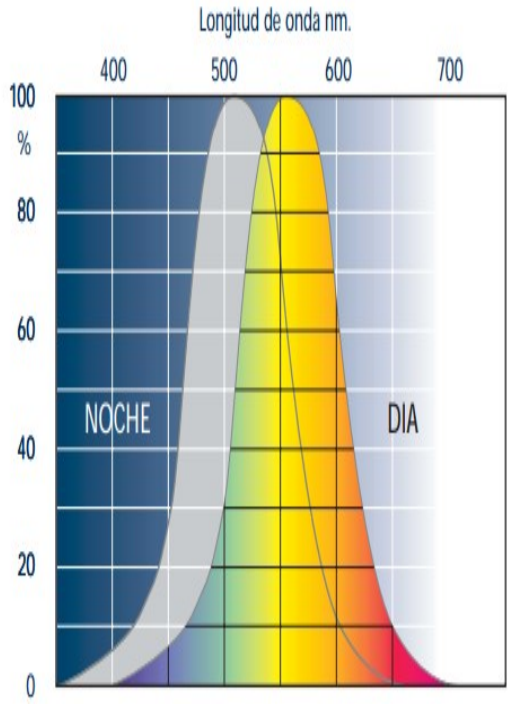
2.3. Formación de imágenes.



El campo visual del hombre está limitado por un ángulo de unos 130 en sentido vertical y de unos 180 en sentido horizontal. El iris, mediante la abertura de la pupila, controla la cantidad de luz que se refracta a través del cristalino para incidir finalmente en la retina, donde el pigmento fotosensible de los fotorreceptores la registran en imágenes invertidas y mucho más pequeñas de lo natural, al igual que ocurre en la cámara fotográfica.

2.4. Curva de sensibilidad del ojo.

Las radiaciones de longitud de onda comprendidas entre 380 nm. y 780 nm. son transformadas por el ojo en luz. Fuera de esta gama el ojo no ve, es ciego y no percibe nada. Todas las fuentes luminosas tienen su propia radiación o mezcla de ellas comprendida dentro de dichos límites.



Curva de sensibilidad del ojo a las radiaciones monocromáticas.
En ella se observa que para la luz blanca del día , la máxima sensibilidad del ojo corresponde a la longitud de onda de 555 nm. y al color amarillo.
La mínima sensibilidad corresponde a los colores rojo y violeta.

2.5. Acomodación.

Es la capacidad que tiene el ojo para ajustarse automáticamente a las diferentes distancias de los objetos, y obtener de esta forma imágenes nítidas en la retina

2.6. Contraste.

Todos los objetos son percibidos por los contrastes de color y de luminancia que presentan las distintas partes de su superficie entre sí y en relación al fondo en que aparece el objeto.

2.7. Adaptación.

Es la capacidad que tiene el ojo para ajustarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos.

2.8. deslumbramiento.

Es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad para distinguir objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo.

3. Propiedades ópticas de la materia.

3.1. Generalidades.

Cuando un rayo de luz se propaga por un medio y alcanza el límite que lo separa de un segundo medio, puede suceder, que retorne al primero (reflexión), o que lo atraviese y que ingrese al segundo medio donde parte se convertirá en otra forma de energía (absorción) y parte no cambiará (transmisión).

3.2. Reflexión.

Cuando unas ondas de cualquier tipo inciden sobre una barrera plana como un espejo, se generan nuevas ondas que se mueven alejándose de la barrera. Este fenómeno se denomina reflexión. Cuando la luz es reflejada por una superficie, un porcentaje de dicha luz se pierde debido al fenómeno de absorción. La relación entre la luz reflejada y la luz incidente se denomina reflectancia de la superficie

3.3. Transmisión.

Es el paso de una radiación a través de un medio sin cambio de frecuencia de las radiaciones monocromáticas que la componen. Este fenómeno es característico de ciertos tipos de vidrios, cristales, plásticos, agua y otros líquidos, y del aire.

En la transmisión se pueden diferenciar tres tipos: regular, difusa y mixta

3.4. Absorción.

Se denomina absorción a la transformación de la energía radiante en otra forma de energía, generalmente en forma de calor.

3.5. Refracción.

Al pasar de un medio a otro, el rayo de luz puede cambiar su dirección. Dicho cambio, se produce por una alteración en la velocidad de la luz. La misma disminuye si la densidad del nuevo medio es mayor, y aumenta si es menor. Este cambio de velocidad y de dirección se denomina refracción. Existen dos leyes de refracción:

1. Cuando la onda pasa de un medio a otro, el rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia, están en el mismo plano. 2. La razón del seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una constante para los medios comprendidos. Dicha constante se denomina índice de refracción, n, para ambos medios. La segunda ley de refracción generalmente se denomina Ley de Snell.

4. El color.

4.1. Generalidades

Las sensaciones luminosas o imágenes que se producen en nuestra retina, al enviarlas al cerebro, son interpretadas como un conjunto de sensaciones monocromáticas que constituyen el color de la luz.

4.2. Clasificación de los colores según el diagrama cromático C.I.E.

La evaluación subjetiva de las superficies de los objetos, tal y como son percibidas por el ojo, se interpretan en función de los atributos o cualidades del color. Éstas son:

a) Claridad o esplendor: Radiación luminosa que recibimos según la iluminancia que posea el objeto.

b) Tono o matiz: Nombre común del color (rojo, amarillo, verde, etc.). Hace referencia a la longitud de onda.

c) Pureza o saturación: La proporción en que un color está mezclado con el blanco.

4.3. Temperatura del color (Tc).

La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro, o sea del "radiante perfecto teórico" (objeto cuya emisión de luz es debida únicamente a su temperatura). Como cualquier otro cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

4.4. Índice de rendimiento de color (IRC).

El dato de temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de colores. Así, dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

4.5. Efectos psíquicos de los colores y su armonía.

Está comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. Por ello, el emplear los colores de forma adecuada es un tema del mayor interés para los psicólogos, arquitectos, luminotécnicos y decoradores. No se pueden establecer reglas fijas para la elección del color apropiado con el fin de conseguir un efecto determinado, pues cada caso requiere ser tratado de una forma particular. Sin embargo, existe una serie de experiencias en las que se ha comprobado las sensaciones que producen en el individuo determinados colores.

5. Magnitudes luminosas.

En la técnica de la iluminación intervienen dos elementos básicos: la fuente productora de luz y el objeto que se va a iluminar.

5.1. Flujo luminoso (potencia luminosa).

El flujo luminoso que produce una fuente de luz es la cantidad total de luz emitida o radiada, en un segundo, en todas las direcciones.

Medida del flujo luminoso.- La medida del flujo luminoso se realiza en el laboratorio por medio de un fotoelemento ajustado según la curva de sensibilidad fotópica del ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporado a una esfera hueca a la que se le da el nombre de Esfera de Ulbricht y en cuyo interior se coloca la fuente a medir

Rendimiento luminoso (eficacia luminosa).- El rendimiento luminoso de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. $\varepsilon = \frac{\Phi}{P}$ (lm/W)

5.2. Cantidad de luz (energía luminosa).

De forma análoga a la energía eléctrica que se determina por la potencia eléctrica en la unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía luminosa se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo. $Q = \Phi \cdot t$ (lm · h)

5.3. Intensidad luminosa.

Esta magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido w.

5.4. Iluminancia (nivel de iluminación).

La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. $E = \frac{\Phi}{S}$ $(lx = lm/m^2)$

5.5. Luminancia.

Se llama Luminancia al efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, tanto si procede de una fuente primaria que produce luz, como si procede de una fuente secundaria o superficie que refleja luz. La luminancia mide brillo de las fuentes luminosas primarias y de las fuentes que constituyen los objetos iluminados.

5.6. Otras magnitudes luminosas de interés.

5.6.1. Coeficiente de utilización.

5.6.2. Reflectancia.

5.6.3. Absortancia.

5.6.4. Transmitancia.

5.6.5. Factor de uniformidad media.

5.6.6. Factor de uniformidad extrema.

5.6.7. Factor de uniformidad longitudinal.

5.6.8. Factor de uniformidad general.

5.6.9. Factor de mantenimiento.

5.7. Representación gráfica de magnitudes luminosas.

El conjunto de la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones constituye lo que se conoce como distribución luminosa.

Si representamos por medio de vectores (I) la intensidad luminosa de una fuente de luz en las infinitas direcciones del espacio, engendramos un volumen que representa el valor del flujo total emitido por la fuente, el cual viene definido por la expresión: $\Phi = \int_v \vec{I} \cdot d\vec{\omega}$

6. Principios fundamentales.

6.1. Ley inversa del cuadro de la distancia.

Desde los experimentos primitivos se ha comprobado que las iluminancias producidas por las fuentes de luz disminuyen inversamente con el cuadrado de la distancia desde el plano a iluminar a la fuente. Se expresa por la fórmula siguiente: $E = \frac{I}{d^2}$ (lx)

6.2. ley del coseno.

En el caso anterior la superficie estaba situada perpendicularmente a la dirección de los rayos luminosos, pero cuando forma con ésta un determinado ángulo a, la fórmula de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia hay que multiplicarla por el coseno del ángulo correspondiente cuya expresión constituye la llamada ley del coseno, que se expresa como: $E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha$ (lx)

6.3. Iluminación normal, horizontal, vertical y en los planos inclinados.

En la Fig. 3 la fuente F ilumina tres planos situados en posiciones normal, horizontal y vertical respecto al mismo. Cada uno de ellos tendrá una iluminancia llamada:

Iluminación normal Aplicamos la ley de la inversa del cuadrado de la distancia: $E_N = \frac{I_\alpha}{d^2}$ (lx)

Iluminación horizontal Si aplicamos directamente la ley del coseno, tenemos que:
$E_H = E_N \cdot \cos \alpha = \frac{I_\alpha}{d^2} \cdot \cos \alpha$ (lx)

Iluminación vertical En este caso también aplicamos directamente la ley del coseno, y obtenemos que: $E_V = E_N \cdot \cos \beta$ (lx)

Iluminación en planos inclinados El plano vertical puede cambiar a través de un ángulo como el que aparece en la Fig. 4. Dicho ángulo es el que forma el plano vertical que contiene al punto P con el plano de incidencia de la luz. $E_{Pi} = \frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{sen}\, \alpha \cdot \cos \gamma$ (lx)

6.4. Relación de iluminancia.

Se han propuesto diferentes conceptos para describir la luz que proviene de otras direcciones que la vertical, entre los que se incluyen los que vamos a ver a continuación.

Vertical / Horizontal La experiencia obtenida de las instalaciones de alto nivel de iluminación con un buen control del deslumbramiento, indica que la relación entre la iluminancia vertical (EV) y la iluminancia horizontal (EH) para un buen modelado* no debe ser inferior a 0´25 en las principales direcciones de la visión. $\frac{E_V}{E_H} \geq 0'25$

Vectorial / Esférica Los efectos de la iluminación direccional se pueden describir en parte por la iluminancia vectorial y la relación entre la iluminancia vectorial y la esférica. $E = \frac{\Phi}{\pi \cdot r^2}$

Cilíndrica / Horizontal Un concepto alternativo para describir el efecto de modelado es la relación entre iluminancia cilíndrica y la iluminancia horizontal en un punto. $0'3 \leq \frac{E_C}{E_H} \leq 3$

Vertical / Semicilíndrica Las pruebas que se han llevado a cabo relacionadas con la iluminación de áreas exteriores para peatones (con niveles de iluminación bajos) han demostrado que la relación entre la iluminancia vertical y la semicilíndrica proporciona una media útil de aceptación de modelado de las facciones humanas, para esta área de aplicación $0'8 \leq \frac{E_V}{E_{semicil}} \leq 1'3$

6.5. Ley de Lambert.

Existen superficies emisoras o difusas que al observarlas desde distintos ángulos se tiene la misma sensación de claridad. A estas superficies se las denomina emisores o difusores perfectos.

$I_\alpha = I_0 \cdot \cos\alpha$

7. Luminarias.

7.1. Generalidades.

Debido a la muy alta luminancia de las lámparas, es preciso aumentar la superficie aparente de emisión para evitar molestias visuales.

Elementos generales

Con independencia de otras definiciones que puedan ser más o menos descriptivas, podríamos definir la luminaria como un objeto formado por un conjunto de elementos destinados a proporcionar una adecuada radiación luminosa de origen eléctrico.

- Incandescentes normales sin elementos auxiliares.
- Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador o fuente electrónica.
- Fluorescentes.

7.2. Clasificación de luminarias por el grado de protección eléctrica.

Las luminarias deben asegurar la protección de las personas contra los contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico, las luminarias pueden clasificarse como:

Clase 0: Luminaria con aislamiento funcional, pero sin aislamiento doble ni reforzado en su totalidad y sin conexión a tierra.

Clase I: Luminaria con al menos aislamiento funcional en su totalidad y con el terminal o contacto de conexión a tierra

Clase II: Luminaria con aislamiento doble y/o aislamiento reforzado en su totalidad y sin provisión para descarga a tierra.

Clase III: Luminaria diseñada para ser conectada a circuitos de voltaje extra-bajo, y que no tiene circuitos, ni internos ni externos, que operen a un voltaje que no sea el extra-bajo de seguridad.

7.3. Clasificación de luminarias por condiciones operativos.

El sistema IP (International Protection – Protección Internacional) fijado por la UNE-EN 60598 clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad. El término cuerpos extraños incluye aquellos elementos herramientas y dedos que entran en contacto con las partes que llevan energía. La designación para indicar los grados de protección consiste en las letras características de IP seguidas por dos números (tres números en Francia) que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en las tablas 1., 2. y 3.

7.4. Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje.

Las luminarias no pueden ser montadas sobre cualquier superficie conveniente. La inflamabilidad de esa superficie y la temperatura del cuerpo de la luminaria imponen ciertas restricciones al respecto. Naturalmente, si la superficie es no-combustible, no existe ningún problema. A los fines de la clasificación, la EN-60598 define a las superficies inflamables como normalmente inflamables o fácilmente inflamables. La clasificación normalmente inflamable hace referencia a aquellos materiales cuya temperatura de ignición es de al menos 200 ºC y que no se debilitan ni deforman a esa temperatura

7.5. Clasificación de la luminarias por sus condiciones de servicio.

Por sus condiciones de servicio, las luminarias se pueden clasificar en los siguientes tipos:

7.5.1. Luminarias para instalaciones de iluminación interior Entendemos que dentro de este grupo están las luminarias destinadas a la iluminación de locales y naves dedicadas a centros comerciales, industrias, oficinas, edificios docentes, instalaciones deportivas cubiertas, etc.

7.5.2. Luminarias para instalaciones de iluminación pública Dentro de este tipo grupo tenemos luminarias de parques y jardines así como las de iluminación pública viaria. Para las primeras, son instalaciones típicas, como su nombre indica, parques, jardines, zonas residenciales, etc. En el segundo tipo tenemos vías urbanas, autopistas, túneles, etc.

7.5.3. Luminarias para instalaciones de iluminación por proyección Dentro de este tipo podemos encuadrar las destinadas a instalaciones deportivas cubiertas y al aire libre, fachadas, áreas de trabajo, áreas de vigilancia, etc. Un proyector es una luminaria que concentra la luz en un ángulo sólido determinado por un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada

7.6. Datos básicos fotométricos.

Hemos visto que en las hojas de información de luminarias aparecen una serie de diagramas que nos indican las peculiaridades fotométricas de la misma. En este apartado vamos a ver dos términos asociados a la obtención de dichas curvas.

7.6.1. Centro fotométrico La mayoría de los cálculos que se realizan se hacen bajo la suposición de que las luminarias son fuentes de luz puntuales, por eso hay que buscar un punto del espacio limitado por la luminaria que nos sitúe la fuente luminosa puntual imaginaria equivalente.

7.6.2. Sistemas de coordenadas fotométricas Cada una de las direcciones del espacio por la cual se radia una intensidad luminosa, queda determinada por dos coordenadas. En las hojas de información fotométrica para luminarias de interior, alumbrado público y proyectores, se utilizan principalmente las representaciones obtenidas mediante tres sistemas de coordenadas, que son los más usados normalmente. Dichos sistemas son los A-α, B-β y C-γ.

7.7. Eficiencia de las luminarias.

La eficiencia de una luminaria se encuentra expresada en términos de su Índice de Salida de Luz (Light Output Radio – I.o.r.)*. A este índice se lo define como la porción de salida de luz de la luminaria con respecto a la suma de las salidas individuales de luz de las lámparas cuando éstas son usadas fuera de la luminariA

8. Lámparas.

8.1. Generalidades.

En el capítulo 1 hemos estudiado la naturaleza dual de la luz y en el capítulo 2, el proceso de cómo las radiaciones visibles se manifiestan en luz a través de la visión. Como hemos comentado, la luz se compone de radiaciones electromagnéticas en forma de ondas, que pueden producirse de forma muy variada según las causas que la provoquen. Si la causa se debe exclusivamente a la temperatura del cuerpo radiante, el fenómeno se llama termorradiación, en todos los demás casos luminiscencia.

8.2. Termorradiacion.

Se conoce con esta denominación la radiación (calor y luz) emitida por un cuerpo caliente. La energía de esta radiación depende única y exclusivamente de la capacidad calorífica del cuerpo radiante. La luz que se obtiene va siempre acompañada de una cuantiosa radiación térmica que, por lo general, constituye una fuente de pérdida de energía cuando de lo que se trata es de producir luz.

8.2.1. Termorradiación natural En la propia naturaleza encontramos un ejemplo evidente de producción de luz a gran escala mediante la termorradiación que nos brindan el Sol y las demás estrellas similares a él.

8.2.2. Termorradiación artificial Se obtiene luz por termorradiación artificial, calentando cualquier materia o cuerpo sólido a una elevada temperatura, bien sea por combustión o incandescencia

8.3. Luminiscencia.

Con este nombre se conocen aquellos fenómenos luminosos cuya causa no obedece exclusivamente a la temperatura de la sustancia luminiscente. Dichos fenómenos se caracterizan porque sólo ciertas partículas de los átomos de la materia, los electrones, son incitados a producir radiaciones electromagnéticas. Para comprender dicho fenómeno de la luminiscencia hemos de estudiar el átomo según el modelo atómico de Börh.

8.4. Condiciones que deben reunir las lámparas.

8.4.1. Distribución espectral de la radiación total Para que las lámparas como transformadoras de energía pudieran trabajar con un alto rendimiento, casi toda la energía absorbida deberían transformarla en radiación visible.

8.4.2. Luminancia Las lámparas luz que se emplean preferentemente al descubierto no deben tener una luminancia elevada, con el fin de que su efecto de deslumbramiento se mantenga dentro de unos límites soportables.

8.4.3. Distribución de la intensidad luminosa La radiación de una lámpara no es igual en todas las direcciones del espacio, siendo afectada por la posición del casquillo, los soportes del cuerpo luminoso, etc., lo cual determina que cada tipo de lámpara posea una distribución típica de su intensidad luminosa.

8.4.4. Efecto biológico de la radiación emitida Es necesario que las lámparas no emitan ninguna radiación que pueda resultar peligrosa para el hombre, bien sea de inmediato o a largo plazo.

8.4.5. Color apropiado para cada aplicación El color de luz de una lámpara se determina por la composición espectral de su radiación.

8.4.6. Calidad de reproducción cromática La reproducción cromática se refiere al aspecto del color que presentan las superficies iluminadas.

8.4.7. Constancia del flujo luminoso En la práctica no es posible conseguir el mantener el valor del flujo luminoso a un 100% en toda la duración de la fuente de luz, ya que se tiene en contra motivos físicos y tecnológicos.

8.4.8. Rendimiento luminoso Como vimos en el capítulo 5, el máximo rendimiento luminoso que se podía conseguir en el caso más favorable era de 683 lm/W.

8.4.9. Vida media y vida útil La vida media es un concepto estadístico que representa la media aritmética de la duración en horas de cada una de las lámparas de un grupo suficientemente representativo del mismo modelo y tipo.

8.4.10. Repercusiones en la red de alimentación Cualquier lámpara moderna requiere que su funcionamiento no tenga una repercusión importante en la red de alimentación.

8.4.11. Estabilización de lámparas con característica de resistencia negativa Resistencia negativa es la propiedad que tienen algunas resistencias eléctricas, por ejemplo la de un arco de descarga, de disminuir su valor a medida que aumenta la intensidad de corriente que circula por ella.

8.4.12. Variaciones de la tensión de alimentación Las variaciones de la tensión de alimentación influyen en los datos luminotécnicos de cualquier lámpara.

8.4.13. Tiempo hasta que el flujo luminoso adquiere el régimen normal Las lámparas incandescentes se encienden inmediatamente emitiendo su flujo total.

8.4.14. Posibilidad de reencendido inmediato Es la posibilidad de que la lámpara, después de apagada, tengan la posibilidad de un reencendido inmediato en caliente con plena emisión de flujo luminoso.

8.4.15. Efecto estroboscópico En todas las fuentes de luz artificiales que funcionan con corriente alterna cesa su emisión cada vez que la corriente pasa por en punto cero.

8.4.16. Posición de funcionamiento Una lámpara eléctrica generalmente está construida para una determinada posición de funcionamiento en la que presenta unas óptimas propiedades de trabajo.

8.5. Lámparas incandescentes.

Como hemos dicho anteriormente, la lámpara incandescente es la fuente de luz eléctrica más antigua y aún la de uso más común. 8.5.1. Lámparas incandescentes convencionales La lámpara incandescente produce luz por medio del calentamiento eléctrico de un alambre (el filamento) a una temperatura alta que emite de esta forma radiación dentro del campo visible del espectro.

8.5.2. Lámparas halógenas de wolframio La alta temperatura del filamento de una lámpara incandescente normal causa que las partículas de wolframio se evaporen y se condensen en la pared de la ampolla, dando por resultado un oscurecimiento de la misma.

8.6. Lámparas de descarga en vapor de mercurio.

En esta parte vamos a ver las lámparas de descarga en cuyo tubo de descarga se introduce vapor de mercurio.

8.6.1. Lámparas fluorescentes La lámpara fluorescente es una lámpara de descarga en vapor de mercurio de baja presión, en la cual la luz se produce predominantemente mediante polvos fluorescentes activados por la energía ultravioleta de la descarga.

8.6.2. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión Desde su introducción, la lámpara de vapor de mercurio a alta presión ha sido desarrollada a tal punto que la tecnología de iluminación es apenas imaginable sin ella.

8.6.3. Lámparas de luz mezcla Las lámparas de luz mezcla son una combinación de la lámpara de vapor de mercurio a alta presión y de la lámpara incandescente, como resultado de uno de los intentos para corregir la luz azulada de las lámparas de vapor de mercurio, lo cual se consigue por la inclusión dentro de la misma ampolla de un tubo de descarga de vapor de mercurio y un filamento incandescente de wolframio.

8.6.4. Lámparas de halogenuros metálicos Son lámparas de vapor de vapor de mercurio a alta presión que además contienen halogenuros de tierras raras como el Dysprosio (Dy), Holmio (Ho) y el Tulio (Tm).

8.7. Lámparas de descarga en vapor de sodio.

En esta parte vamos a ver las lámparas de descarga en cuyo tubo de descarga se introduce vapor de sodio.

8.7.1. Lámparas de sodio a baja presión Existe una gran similitud entre el trabajo de una lámpara de vapor de sodio a baja presión y una lámpara de vapor de mercurio a baja presión (o fluorescente).

8.7.2. Lámparas de sodio a alta presión Físicamente, la lámpara de sodio alta presión es bastante diferente de la lámpara de sodio baja presión, debido a que la presión de vapor es más alta en la primera.

8.8. Lámparas de inducción.

Las partes más vulnerables de toda lámpara a descarga son los electrodos.

8.8.1. Lámparas fluorescentes de alta potencia sin electrodos La descarga en esta lámpara no empieza y acaba en dos electrodos como en una lámpara fluorescente convencional.

8.8.2. Lámparas de descarga de gas a baja presión por inducción Este tipo de lámpara consta de un recipiente de descarga que contiene el gas a baja presión y un acoplador de potencia (antena).

9. Equipos auxiliares de regulación y control.

9.1. Generalidades.

En este capítulo vamos a tratar sobre los equipos auxiliares que necesitan las lámparas para su correcto funcionamiento.

9.2. Balasto.

9.2.1. Introducción Las reactancias o balastos son accesorios para utilizar en combinación con las lámparas de descarga, que en forma de impedancias inductivas, capacitivas o resistivas, solas o en combinación, limitan la corriente que circula por aquellas a los valores exigidos para un funcionamiento adecuado.

9.2.2. Función que cumple la reactancia La reactancia es elemento fundamental en cualquier instalación de alumbrado con lámparas de descarga, ya que sin ellas, las lámparas no podrían funcionar.

9.2.3. Normativa que deben cumplir las reactancias Homologación de las reactancias Las reactancias deben ser fabricadas según las normas nacionales e internacionales correspondientes.

9.2.4. Balastos electromagnéticos Los balastos electromagnéticos están compuestos, principalmente, por un gran número de bobinas de cobre sobre un núcleo de hierro laminado.

9.2.5. Balastos electrónicos Los balastos electrónicos ofrecen ventajas importantes con respecto a los balastos inductivos convencionales

9.3. Arrancadores.

Las lámparas de vapor de mercurio, tienen electrodos que les permiten el arranque con tensiones bajas, del orden de los 220 V., por lo que no necesitan ningún dispositivo adicional para el arranque.

9.4. Condensadores.

9.4.1. Introducción El condensador eléctrico es un sistema formado por dos conductores separados por un aislante.

9.4.2. Factor de potencia El factor de potencia (cos) puede definirse como la eficiencia relativa en el uso de la energía eléctrica.

9.5. Equipos de ahorro de energía.

En los alumbrados públicos con lámparas de descarga puede reducirse el consumo energético en las horas de madrugada o en circunstancias de menor exigencia visual mediante la reducción de la iluminancia en cada punto o en la mayoría de los puntos luminosos correspondientes.

9.6. Equipos eléctricos de las diferentes lámparas de descarga circuitos.

Tubos fluorescentes Los tubos fluorescentes se clasifican en dos grandes grupos, en función de que los cátodos estén o no caldeados para su arranque.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión Los equipos eléctricos más usados son los de una inductancia en serie con la lámpara que limita las intensidades de arranque y de régimen normal.

Lámparas de vapor de sodio a baja presión Los equipos utilizados para este tipo de lámpara en el pasado reciente han sido casi exclusivamente los constituidos por un autotransformador de alta impedancia en el secundario y condensador en paralelo con la línea para mejorar el factor de potencia.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión Para el arranque de este tipo de lámparas se han desarrollado arrancadores electrónicos que en combinación con el balasto o de forma independiente, generan impulsos que las lámparas necesitan para inicio del arco.

Lámparas de halogenuros metálicos En general, no ha sido necesario desarrollar balastos especiales para estas lámparas.

10. Iluminación interior e industrial.

El hombre necesita estar informado del entorno que le rodea para poder llevar a cabo fácilmente y sin peligro sus actividades.

10.1. Generalidades.

10.1.1. Visibilidad / Rendimiento visual Para el trabajo en espacios interiores, la influencia de la iluminación en la realización del trabajo es muy importante.

10.1.2. Satisfacción visual La satisfacción visual es un término utilizado para describir la aceptabilidad de las condiciones visuales.

10.1.3. Capacidad visual Las capacidades visuales varían de un individuo a otro como ocurre con otros factores individuales característicos de las personas.

10.1.4. Parámetros de iluminación El nivel y la calidad de la iluminación proporcionada por una instalación dada se pueden describir mediante los parámetros siguientes: -Nivel de iluminación. -Deslumbramientos. -Sombras y modelado. -Calidad de la luz. -Diseño de la iluminación

10.2. Nivel de iluminación.

El nivel de iluminación requerido en una situación determinada se expresa en términos de iluminancia.

Superficie de referencia La superficie de referencia de un interior es la superficie donde se va a suministrar la iluminancia apropiada recomendada, seleccionada de las tablas que se muestran al final de este capítulo.

Uniformidad de iluminancia La iluminancia proporcionada en la superficie de referencia por una instalación de iluminación nunca será totalmente uniforme, ni en espacio ni en el tiempo.

Uniformidad en el tiempo La iluminancia media proporcionada por una instalación disminuirá gradualmente a lo largo del tiempo debido a la depreciación del flujo luminoso de la lámpara y la acumulación de suciedad en las lámparas, luminarias y superficies de la habitación

10.3. Deslumbramiento.

El deslumbramiento es la sensación producida por una luminancia exagerada dentro de un campo visual que altera la sensibilidad del ojo, causando molestia, reduciendo la visibilidad o ambas cosas.

10.3.1. Control del deslumbramiento El control del deslumbramiento directo de lámparas y luminarias consiste en controlar la luminancia de las mismas en la dirección de los ojos del observador.

10.3.2. Métodos prácticos para el control del deslumbramiento Fundamentalmente, control del deslumbramiento significa control de la luminancia de foco en el intervalo de 45º a 90º.

10.3.3. Sistema de protección del deslumbramiento C.I.E. Es el sistema de curva de la luminancia utilizado en combinación con un sistema de ángulo protector como un verificador adicional para luminarias que poseen lámparas, o partes de la misma, visibles dentro de la zona de visión crítica.

10.4. Sombras y modelado. La apariencia de interiores se mejora cuando sus características estructurales y los objetos y las personas están iluminadas de tal forma que las siluetas se ven clara y agradablemente, y las sombras se forman sin confusión. Esto ocurre cuando la luz fluye de forma evidente en una dirección más que en cualquier otra. El término modelado se usa para describir la forma en la cual las siluetas de objetos tridimensionales se destacan por la iluminación

10.5. Calidad de luz.

En el capítulo 4 dedicado a El Color, vimos que las características más importantes de la calidad de la luz son su Temperatura de Color (TC) y su Índice de Rendimiento de Color (IRC ó Ra).

10.6. Diseño de iluminación.

La iluminación es un arte y una ciencia, por lo tanto no puede haber reglas rígidas ni ligeras que regulen el proceso de diseño.

10.6.1. Distribución de luminancias en superficies La distribución de luminancias dentro de un campo de visión es un criterio extremadamente importante en el diseño de la iluminación.

10.6.2. Depreciación de la emisión de luz La iluminancia proporcionada inicialmente por una instalación de iluminación disminuirá de manera gradual durante el uso debido a una reducción en los lúmenes de la lámpara, a lámparas que se quemen, y a la acumulación de suciedad en las lámparas, luminarias y superficies de la habitación.

10.7. Cálculos de iluminación interior.

10.7.1. Niveles de iluminación y recomendaciones Antes de comenzar los cálculos de iluminación, hay que obtener los valores requeridos para el tipo de actividad a desarrollar en el local que queremos iluminar

10.7.2. Índice del local Los locales a iluminar se clasifican según la relación que existe entre sus dimensiones, la altura de montaje y el tipo de alumbrado.

10.7.3. Factor de mantenimiento (fm) En términos generales, se pueden establecer los factores de mantenimiento que aparecen en la Tabla 3, que son función del ambiente de trabajo.

10.7.4. Factor de utilización o utilancia (fu) El factor de utilización de un sistema de alumbrado es la relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el flujo total que emiten las lámparas instaladas.

10.7.5. Proceso de cálculo Actualmente este proceso está informatizado (programa INDALWIN), pero vamos a indicar en este apartado el proceso a seguir para realizar un proyecto de iluminación en un interior, teniendo en cuanta las recomendaciones que establece la C.I.E. en cuanto a iluminancias de servicio, calidad de limitación de deslumbramiento directo y el grupo de rendimiento de color (IRC o Ra) más recomendado para una instalación concreta (almacenes, oficinas, aulas, etc.).

11. Iluminación por proyección.

11.1. Generalidades.

El Comité Internacional de Iluminación (C.I.E.) define la iluminación por proyección como: La iluminación de un lugar (escena, área) o de un objeto, por medio de proyectores, a fin de aumentar fuertemente su iluminación en relación con los alrededores.

Recopilación de datos Es la base fundamental para tomar decisiones posteriores.

Determinación de la iluminancia En el caso de no sernos dada, hemos de fijar el nivel recomendable, teniendo en cuenta todas las particularidades y con ayuda de las tablas que aparecen a lo largo y al final de este capítulo

11.2. Iluminación utilitaria.

Este sistema de iluminación lo integran aquellos casos en que la iluminación por proyección viene obligada por la necesidad de seguridad, protección o producción, constituyendo el único sistema lógico de realizar el alumbrado.

11.3. Iluminación decorativa.

Este sistema de iluminación se utiliza cuando se trata de iluminar, por motivos puramente decorativos, un anuncio, una fachada, un edificio, fuente o monumento artístico, etc., con la idea de atraer sobre él la atracción del público, embellecer un paraje o como expresión de orgullo cívico, no exento de propaganda.

11.3.1. Consideraciones generales de diseño Durante las horas diurnas, un edificio está iluminado por la luz directa del Sol, la difusa radiada desde el cielo o por ambas.

11.3.2. Iluminación de edificios La conveniencia de que un edificio sea iluminado por proyección está determinada por varios factores, incluyendo la forma y superficies del edificio, su carácter (el cual puede ser difícil de definir), su mérito arquitectónico, su significado histórico o social y sus alrededores.

11.3.3. Monumentos Los monumentos deberían ser iluminados por proyección de una manera que indique su carácter, edad y, donde sea factible, su significado histórico

11.3.4. Puentes y viaductos Los puentes son, en general, elementos atractivos, y cuando son convenientemente iluminados, contribuyen a mejorar el paisaje nocturno.

11.3.5. Iluminación de áreas de ocio y entretenimiento La iluminación nocturna de parques públicos y jardines es esencial para la seguridad, especialmente de los niños, y aumenta el tiempo durante el cual pueden disfrutarse los elementos para el ocio.

11.4. Iluminación deportiva.

11.4.1. Generalidades El objetivo de iluminar instalaciones deportivas ya sean interiores o exteriores es ofrecer un ambiente adecuado para la práctica y disfrute de actividades deportivas por parte de jugadores y público. Lógicamente

11.4.2. Consideraciones de diseño

12. Iluminación de carreteras.

12.1. Criterios de decisión sobre la iluminación de carreteras.

12.1.1. Objetivos El objetivo fundamental de la iluminación de carreteras es permitir una visión segura y confortable durante la noche

12.1.2. Conducción nocturna y capacidad visual de los usuarios El entorno visual de un automovilista que conduce por la noche está formado principalmente por la calzada.

12.1.3. Criterios de decisión en la necesidad de iluminación de una carretera Debe realizarse una selección entre los posibles tramos de carreteras a fin de determinar cuáles de ellos deben ser provistos de alumbrado público, lo que exige el establecimiento de factores y criterios que determinen la implantación de dichas instalaciones.

12.2. Situación de proyecto, clases de alumbrado y niveles de iluminación.

12.2.1. Clasificación de las situaciones del proyecto

12.2.2. Selección de la clase de alumbrado Una vez establecida la situación de proyecto de acuerdo con lo dispuesto en la Tabla 2, se procede a seleccionar la clase de alumbrado que satisface las exigencias de iluminación que se necesitan para la citada situación del proyecto.

12.2.3. Área de referencia Definida como parte del área pública de trabajo, bajo consideración o estudio, deben distinguirse varios supuestos en función de los grupos de situaciones de proyecto que a continuación se especifican

12.2.4. Variaciones temporales de la clase de alumbrado En todas las situaciones de proyecto, al objeto de ahorrar energía, podrá variarse temporalmente la clase de alumbrado a otra de inferior nivel luminotécnico a ciertas horas de la noche en las que disminuya sustancialmente la intensidad de tráfico, llevándolo a cabo mediante el correspondiente sistema de regulación de nivel luminoso.

12.2.5. Alumbrados con soportes de gran altura Recibe tal denominación el alumbrado ejecutado con puntos de luz cuya altura de montaje es superior a 16 m., y cuyo mantenimiento no puede ser realizado mediante vehículo dotado de cesta hidráulica.

12.3. Cálculos luminotécnicos.

12.3.1. Cálculo de luminancias en la instalación de alumbrado

12.3.2. Cálculo de iluminancias horizontales

12.3.3. Cálculo del deslumbramiento perturbador

12.4. Sistemas de iluminación.

12.4.1. Distribución de puntos de luz en cruces, glorietas y curvas En los cruces e intersecciones los niveles de iluminación serán los establecidos para tramos singulares y, como mínimo, de un 10 a 20% superiores a los correspondientes a la clase de vía cuyo nivel luminoso sea mayor entre las que confluyen en el mismo.

12.4.2. Implantación de puntos de luz en tramos rectos Para vías de tráfico en tramos rectos se considerarán cinco tipos básicos de distribución de los puntos de luz.

12.4.3. Disposición de puntos de luz en alzado Para la disposición en alzado de los puntos de luz, la altura adoptada será la altura H de montaje elegida en los cálculos luminotécnicos.

13. Iluminación de túneles.

13.1. Generalidades.

La conducción de vehículos a través de los túneles durante las horas diurnas plantea una problemática totalmente diferente a la conducción al aire libre por la noche, que se concreta fundamentalmente en las diferentes existentes entre los elevados niveles de luminancia exteriores y los bajos niveles de luminancia en el interior de los túneles

13.2. Iluminación de túneles largos.

Las principales características fotométricas necesarias para establecer la calidad del alumbrado de un túnel son las siguientes: - Nivel de luminancia de la calzada. - Nivel de luminancia de las paredes, en particular hasta una altura de 2 m. - Uniformidad de distribución de luminancia en calzada y paredes. - Limitación del deslumbramiento. - Control del efecto Flicker

13.3. Iluminación de túneles cortos y pasos inferiores.

Los túneles cortos y los pasos inferiores presentan la disyuntiva de dotarlos o no de alumbrado diurno.

13.4. Alumbrado de emergencia.

En este punto la norma establece que cuando el túnel sufra un fallo de alimentación de corriente se debe disponer de un sistema de alimentación de emergencia y un sistema de alumbrado de emergencia.

13.5. Mantenimiento.

El factor de mantenimiento utilizado en los estudios de iluminación cubren normalmente la depreciación de luminaria (ensuciamiento) y lámpara (pérdida de flujo luminoso).

13.6. Control de encendidos.

En este tipo de instalaciones es importante disponer de un sistema de control automático, teniendo en cuenta que los niveles de la zona umbral y transición están establecidos en función de la luminancia de la zona de acceso.

13.7. Alumbrado noche (zona exterior tunel).

La zona de salida del túnel la calzada exterior debe estar iluminada en una longitud igual a dos veces la distancia de parada (no mayor a 200 m.), con un nivel medio superior a 1/3 de la zona de salida del túnel.

13.8. Diseño del alumbrado de túneles.

Respecto a las tablas guía para túneles cortos especificados en el apartado 13.3., de este capítulo, constituyen solamente una guía que deberá ser adaptada al tipo concreto de túnel y carretera de acceso y salida.

13.9 Guiado visual.

Al circular por el interior del túnel el conductor de un vehículo debe poseer la información adecuada.

14. Contaminación lumínica.

14.1. Introducción.

Desde sus orígenes, el hombre siempre se ha preocupado por el origen y el destino de nuestro planeta así como sobre la existencia de la vida terrestre, y el estudio del firmamento siempre ha estado ligado a esta preocupación.

14.2 Seguridad y niveles de iluminación.

En el ámbito de la Unión Europea existe un considerable número de tráfico que circula por la noche, con una media de alrededor de un 25%.

14.3 Visión de contraste.

La visibilidad de un objeto situado sobre un fondo, depende de la diferencia de luminancias entre el objeto y el fondo

14.4 Sistema de zonificación.

Las potenciales contradicciones entre las exigencias fotométricas relativas a la actividad humana nocturna, seguridad en la circulación de vehículos y peatones, calidad de vida, integridad del entorno, propiedades, bienes, etc. y la contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo que dificulta las observaciones astronómicas de los objetos celestes, deben abordarse para adoptar las soluciones posibles

14.5 Criterios de elección de lámparas.

Se recomienda la utilización de lámparas del tipo de descarga. En vías de tráfico rodado y zonas urbanas se utilizarán preferentemente lámparas de vapor de sodio a alta presión, debido a su elevada eficacia luminosa (lm/W) y mejor rendimiento de color que las lámparas de vapor de sodio a baja

presión, cuyo uso podría ser también recomendable en carreteras a cielo abierto, zonas rurales y áreas que requieran alumbrado de seguridad

14.6 Limitaciones del flujo hemisférico superior.

Se define el flujo hemisférico superior instalado FHSinst emitido por una luminaria como el dirigido por encima del plano horizontal

14.7 Otras características de las luminarias.

Considerando que el rendimiento de una luminaria es la relación entre el flujo emitido por la luminaria y el flujo producido por la lámpara, en el caso de instalaciones de alumbrado de vías de tráfico rodado, se propone implantar preferentemente luminarias con rendimientos iguales o superiores al 70% (lámpara tubular clara) o al 60% (lámpara ovoide opal).

14.8 Distancias entre zonas y el punto de referencia.

La contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo de una zona específica,

14.9 Características fotométricas de los pavimentos.

Siempre que las características constructivas, composición y sistema de ejecución resulten idóneos respecto a la textura, resistencia al deslizamiento, lisura, drenaje de la superficie, etc., en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda utilizar pavimentos cuyas características y propiedades reflexivas resulten adecuadas para las instalaciones de alumbrado público, al objeto de lograr la máxima luminancia y uniformidad a igualdad de iluminancia consiguiéndose, por tanto, una mayor separación entre puntos de luz

14.10 Variaciones temporales de los niveles de iluminación.

En las vías de tráfico, zonas peatonales, carriles bici, etc., podrán reducirse los niveles luminosos a ciertas horas de la noche, siempre que quede garantizada la seguridad de los usuarios.

14.11 Recomendaciones para reducir la contaminación lumínica.

Entre las posibles alternativas para reducir la contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo se recomiendan

14.12 Anexo: “Valores orientativos recomendables para la limitación de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior.

La división 5 de la C.I.E., a través de su Comité Técnico TC 5-12, a finales de 1995 elaboró el borrador de informe técnico “Guía sobre la limitación de los efectos de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior”.